LETTURE

DELLA

CLASSE DI SCIENZE MATEMATICHE E NATURALI.

FISICA TERRESTRE. — *Osservazioni fatte a Milano sopra il passaggio delle onde atmosferiche prodotte dall'eruzione del vulcano Krakatoa nello Stretto della Sonda.* Comunicazione del M. E. G. SCHIAPARELLI.

I.

I periodici scientifici hanno negli ultimi tempi recato notizie di una serie di ondate atmosferiche, che sarebbero state prodotte dalla formidabile esplosione del vulcano Krakatoa nello Stretto della Sonda, avvenuta il 27 agosto 1883. Ciò m'indusse ad esaminare la curva tracciata in quell'epoca dal nostro barografo registratore d'Hipp, del quale la sorveglianza è affidata al signor Fornioni. La segnatura di questo istrumento non è continua, e consiste in una serie di punti tracciati di dieci in dieci minuti: siccome però ognuna di quelle ondate durò un'ora od anche più, il fatto ebbe campo di manifestarsi collo spostamento di parecchi punti della serie, rendendosi così abbastanza evidente. Premetto che, secondo le relazioni avute, le grandi esplosioni del vulcano ebbero luogo nelle ore antimeridiane del 27 agosto secondo il tempo locale, e quindi nella notte corsa fra il 26 e il 27

Digitized by Google

agosto secondo il tempo di Milano. Tutte le date allegate qui sotto sono del tempo medio civile di Milano.

I. La prima ondata cominciò a manifestarsi qui all'una pomeridiana del 27 agosto, cioè poche ore dopo la grande esplosione. Dopo di esser salito di una piccolissima frazione di millimetro sino ad $1.^h\ 20^m$, il barometro cominciò a scendere rapidamente abbassandosi più di 1^{mm} fino ad $1.^h\ 50^m$. Risalì un poco fino alle $2.^h\ 10^m$, indi scese di nuovo quasi un altro millimetro, e la massima depressione ebbe luogo a $3.^h\ 10^m$, epoca che si deve considerare come punto culminante di questo passaggio dell'onda (1). Quindi rimontò per due ore di seguito fino a $5.^h\ 10^m$, dopo di che la curva riprese l'andamento regolare primitivo. Vedi questa parte della curva rappresentata dalla tavola annessa sotto il n. I. Tanto per questa come per le altre figure da descriversi dopo, le oscillazioni del barometro sono rappresentate in scala decupla, per modo che un centimetro sulla figura rappresenta un millimetro di mercurio.

II. Questa fu molto più rapida, e tuttavia anche più intensa della prima. Alle ore 5 del mattino del giorno 28 agosto il barometro cominciò a scendere, e fra $5.^h\ 10^m$ e $5.^h\ 20^m$ si abbassò quasi di un millimetro, fra $5.^h\ 20^m$ e $5.^h\ 30^m$ si alzò quasi di due millimetri, e ritornò allo stato primitivo a $5.^h\ 40^m$. Seguì un'altra piccola vicenda di alto e basso che durò circa un'ora, poi la curva diventò regolare di nuovo.

III. Questa ondata accadde il 29 agosto, e cominciò ad $1.^h\ 30^m$ del mattino con un abbassamento leggerissimo di circa mezzo millimetro, seguito da innalzamento corrispondente: un *maximum* ebbe luogo a $2.^h\ 10^m$, un secondo *maximum* a $2.^h\ 40^m$, quindi il barometro continuò il suo andamento uniforme.

IV. Si riscontra nella curva barografica lo stesso giorno 29 agosto. Cominciò con un lieve moto di ascensione a $3.^h\ 50^m$ dopo mezzodì: un innalzamento di circa $^2/_3$ di millimetro ebbe luogo, con *maximum* a $4.^h\ 10^m$: indi il barometro si abbassò lentamente fino a $5.^h\ 0^m$, ripigliando poco a poco il corso normale.

V. Fu la quinta ondata così poco sensibile, che appena ho potuto ravvisarla: essa ha prodotto un lievissimo innalzamento di forse $^1/_5$

(1) Dico questo, perchè ho motivo di congetturare, che in altre stazioni sia stato considerato come punto culminante di questo passaggio la prima rapida discesa, che a Milano ebbe luogo, come si disse qui sopra, a $1.^h\ 50^m$. Questa discesa è certo la fase che dà più nell'occhio; ma non corrisponde alla perturbazione massima.

Digitized by Google

di millimetro il 30 agosto circa 30 minuti dopo mezzodì. Tre ore dopo si nota di nuovo un'altra irregolarità, ma più saliente, cioè un lieve abbassamento seguito da uguale innalzamento fra $3.^h\ 0^m$ e $3.^h\ 40^m$ pomeridiane del 30 agosto. La differenza di livello fra il massimo ed il minimo non ha potuto esser molto più di $^1/_3$ di millimetro.

VI. Un poco più sensibile della precedente, si annunziò con un lieve innalzamento, che cominciò il 31 agosto a $2.^h$ dopo mezzanotte, raggiunse il *maximum* ($^1/_3$ di millimetro circa) a $2.^h\ 20^m$ e finì press'a poco a $3.^h\ 0^m$. In questa parte la curva barografica comincia ad aver un tracciamento meno regolare di quello osservato fin qui: nondimeno appajono ancora sufficientemente distinte le ondate che seguono.

VII. Consiste in una piccola depressione di forse $0.^{mm}\ 4$ compresa fra 10 e 12 ore della sera del 31 agosto, e della quale il *minimum* ebbe luogo a $11.^h\ 20^m$. Quattro ore dopo, alle $3.^h\ 0^m$ del mattino 1 settembre esiste un'altra piccola inflessione.

VIII. Questa è benissimo indicata con un piccolo innalzamento di $0.^{mm}\ 5$ subitamente prodottosi a $2.^h\ 0^m$ pomeridiane del 1° settembre; forma un piccolo dente nella curva, preceduto e seguito da tratti abbastanza regolari.

IX. È indicata da 2 abbassamenti piuttosto rapidi di forse $^1/_3$ di millimetro, avvenuti la mattina del 2 settembre, l'uno a $10.^h\ 40^m$ antimeridiane, l'altro a mezzodì.

Passato questo punto, la curva si mantiene regolare per alcune ore fino al *minimum* meteorologico, che ebbe luogo a $6.^h\ 30^m$ pomeridiane dello stesso giorno. Risale quindi facendo una quantità d'onde minute, nelle quali è impossibile ravvisare un proseguimento qualunque del fenomeno che stiamo investigando, e che sono dovute probabilmente a fluttuazioni locali dell'atmosfera che pesa sull'istrumento.

II.

Dopo questa esposizione dei fatti io mi permetterò di aggiungere qualche riflessione sul modo con cui hanno potuto aver origine, senza tuttavia aspirare a darne uno studio completo. Questo non si potrà fare, che raccogliendo e discutendo tutte le analoghe osservazioni ottenute in diversi luoghi della Terra, ed è cómpito riservato ad altri.

Perchè si possa giudicare a colpo d'occhio della serie dei tempi in cui avvennero le diverse ondate, i loro intervalli e le durate di ciascuna, aggiungo il seguente quadro, nel quale i tempi sono espressi in

Digitized by Google

ore e minuti contati a partire dalla mezzanotte compresa fra i giorni 26 e 27 agosto, tempo medio di Milano.

Ondata	Epoca, a partire da mezzanotte 26-27 agosto			Epoca media	Durata di ciascun passaggio	Intensità o profondità
	Principio	Mezzo	Fine			
I	13.h 20m	15.h 10m	17.h 10m	15.h 13m	4.h 0m	1.mm 5
II	29. 0	29. 25	29. 40	29. 25	0. 40	1. 7
III	49. 30	50. 10	50. 40	50. 7	1. 10	0. 5
IV	63. 50	64. 10	65. 0	64. 20	1. 10	0. 7
V	84. 0	84. 30	85. 0	84. 30	1. 0	0. 2
V *a*	87. 0	87. 20	87. 40	87. 20	0. 40	0. 3
VI	98. 0	98. 20	99. 0	98. 27	1. 0	0. 3
VII	118. 0	119. 0	120. 0	119. 0	2. 0	0. 4
VII *a*	. . . . .	123. 0	. . . . .	123. 0	. . . . .	0. 2
VIII	. . . . .	134. 0	. . . . .	134. 0	. . . . .	0. 5
IX	154. 40	155. 20	156. 0	155. 20	1. 20	0. 3

Considerando le serie delle quattro prime colonne si vede, che esse procedono per intervalli alternati di circa 14 ore e di circa 20 ore, quando però si escludano le onde segnate V *a* e VII *a* le quali pertanto forse sono dovute ad una causa diversa da quella che ha prodotto le altre, o ad ogni modo debbono considerarsi come formanti una serie distinta. Questa ripetizione periodica è stata con molta probabilità attribuita a ciò, che l'onda atmosferica eccitata dal vulcano ha dovuto fare, nell'intervallo considerato, più volte il giro del globo. Infatti, stando a quanto fu supposto, la commozione originaria ha dovuto generare un'onda circolare nell'atmosfera, la quale allargandosi concentricamente intorno al vulcano giunse ad occupare il circolo massimo avente il vulcano per polo; e continuando la sua strada dovette al di là di tal circolo restringersi, e riconcentrarsi finalmente nel punto della Terra posto agli antipodi del vulcano, riguadagnando nel raccogliersi quella intensità che aveva perduto nel dilatarsi. Il punto in questione è poco distante dall'istmo di Panama. Di là l'onda ha dovuto di nuovo allargarsi concentricamente, propagandosi in direzione opposta alla primitiva, e passato il circolo massimo suddetto, ricon-

Digitized by Google

centrarsi sul vulcano. Dal quale dipartendosi si suppone che abbia fatto un terzo viaggio affatto simile al primo, poi un quarto affatto simile al secondo, e così via.

In questo moto alterno dell'onda fra il vulcano ed il suo antipodo, ad ogni oscillazione essa ha dovuto passare sopra Milano: ed è manifesto, che gl'intervalli fra i consecutivi passaggi non potranno essere uguali, per essere Milano più distante dal vulcano, che dall'antipodo. Così si spiega la serie degli intervalli alternatamente più lunghi e più brevi. Ad investigare con alquanto maggior precisione la cosa, notiamo che quando si supponga uniforme esattamente il moto di propagazione dell'onda, i due intervalli alterni della progressione dei tempi osservati devono stare fra loro nel medesimo rapporto, che le distanze di Milano dal vulcano e dal suo antipodo. Formando dunque la tavola degli intervalli alternati, abbiamo:

Intervalli corrispondenti alla parte orientale dell'oscillazione fra Milano ed il vulcano:		Intervalli corrispondenti alla parte occidentale dell'oscillazione fra Milano e l'antipodo:	
Ondata II-III . . .	20.h 42m	Ondata I-II	14.h 12m
» IV-V . . .	20. 10	» III-IV . . .	14. 13
» VI-VII . .	20. 33	» V-VI . . .	13. 57
» VIII-IX . .	21. 20	» VII-VIII . .	15. 0
Media . . .	20.h 41m	Media . . .	14.h 20m

dove sono state escluse le ondate V *a* e VII *a*, e dove per epoca di ciascuna ondata è stata presa l'epoca media delle sue varie fasi, come è data nella quinta colonna della tabella qui sopra.

La durata totale della doppia escursione, o il tempo impiegato dall'onda a far due volte mezzo il giro del globo risulterebbe di 35 ore, e la durata della parte orientale dell'oscillazione starebbe alla durata della parte occidentale, come 1, 44 a 1, 00.

Ma questo rapporto non s'accorda con quello delle distanze di Milano dal vulcano e dal suo antipodo. Supponendo infatti che il vulcano si trovi a 105° 30′ a levante del meridiano di Greenwich nella latitudine australe di 6° 0′, risulta

da Milano al vulcano . . 98.° 10′
da Milano all'antipodo . . 81. 50:

delle quali distanze il rapporto è 1,20 a 1.00. Così che ammettendo

Digitized by Google

35 ore per la durata della doppia oscillazione, i due intervalli nella progressione dei tempi dovrebbero essere $19.^h 6^m$ e $15.^h 54^m$ invece di $20.^h 41^m$ e $14.^h 20.^m$ Questa differenza è impossibile attribuirla all'incertezza della registrazione barografica, e condurrebbe a supporre qualche causa ignota, che abbia rallentato in modo disuguale le due parti dell'oscillazione, e più la parte orientale, che l'occidentale. Infatti la velocità di propagazione nella parte orientale risulterebbe dai numeri precedenti essere 293^m per secondo, mentre nella parte orientale verrebbe ad essere di 351^m, e la velocità media corrispondente all'insieme di una intiera oscillazione sarebbe 317^m.

Per noi queste discordanze dimostrano, che l'ipotesi della propagazione uniforme dell'onda sotto figura esattamente circolare e concentrica al vulcano, quale or ora è stata abbozzata, non conviene coi fatti. Mettendo per ora da parte la deviazione della Terra dalla forma sferica, non solo la propagazione è disturbata dalle differenze di temperatura nelle varie latitudini e dalla varia distribuzione del vapor acqueo: ma è altresì (almeno localmente) influenzata dal moto dell'atmosfera stessa, cioè dai venti. E finalmente è da supporre, che dove l'onda si propaga senza ostacoli, come sulla superficie del mare, essa debba avere una velocità maggiore, che sui continenti, dove è rotta e in molte guise modificata dalle asperità del suolo. Noi vogliamo adesso considerare il problema sotto questo aspetto.

III.

Se ammettiamo che l'onda eccitata dal centro vulcanico si vada allargando con velocità alquanto diverse nelle diverse direzioni essa perderà la forma circolare: le sue diverse parti od elementi arriveranno in diversi tempi, o non arriveranno affatto all'antipodo: così che non solo quel luogo non potrà più considerarsi come centro di nuove onde, ma un tal centro, generalmente parlando, non esisterà più. L'onda deformata, dopo essersi dilatata per qualche tempo, raggiungerà un *maximum* di estensione, poi restringendosi di nuovo, si ripiegherà intersecando più volte sè medesima, e riducendosi ad occupare un *minimum* di spazio: e la regione in cui questo avverrà potrà anche esser alquanto lontana dall'antipodo. Dopo questa fase le diverse parti dell'onda, passando le une sopra le altre, progrediranno senza farsi reciprocamente ostacolo, e l'onda si dispiegherà di nuovo, formando una curva diversa dalla prima. I suoi diversi elementi ritorneranno nelle vicinanze del vulcano dopo di aver percorso un giro intiero del globo,

Digitized by Google

ma questo ritorno non facendosi secondo un circolo massimo, nè con uguale velocità, non si avrà più sopra il vulcano un centro di nuove onde, ma si ripeterà quello che era avvenuto dalla parte dell'antipodo, cioè le diverse parti della curva formante l'onda continueranno ciascuna il suo corso, e quella curva, dopo essersi ripiegata fino ad occupare un *minimum* di spazio, si dispiegherà di nuovo una seconda volta, per riconcentrarsi poi all'antipodo nel modo spiegato di sopra. Seguitando questo processo alterno, è facile immaginarsi che la concentrazione dell'onda nei minimi spazj dalla parte del vulcano e dalla parte dell'antipodo diventerà sempre più imperfetta, descrivendo i diversi elementi della medesima il giro del globo con velocità diverse e secondo linee continuamente modificate, accrescendosi quindi vieppiù le differenze degli spazj percorsi da ciascun elemento, e le divergenze della via percorsa dal circolo massimo che segnava la direzione iniziale della partenza del vulcano. Il fenomeno si andrà dunque confondendo, ed estinguendo tanto più presto, quanto maggiori saranno le diversità di resistenza incontrate dalle diverse parti dell'onda sulle vie rispettivamente percorse.

Quando, come avviene certamente nel caso da noi considerato, le differenze di resistenza e di velocità son molto piccole, le linee percorse da ciascun elemento dell'onda saranno (almeno in principio) poco diverse da circoli massimi. Potremo dunque ammettere come concetto approssimativo, che quell'elemento di onda, il quale è passato sopra Milano in un certo momento, sia identico a quello che vi passerà dopo aver fatto una, due, tre... volte il giro del globo: ed assumeremo anche, che quell'elemento arrivi a Milano sempre press'a poco nella medesima direzione e seguendo un medesimo circolo massimo. Dato questo, siccome la resistenza lungo quel circolo si può riguardare come costante nei varj giri, i successivi ritorni di quell'elemento dovranno farsi ad intervalli press'a poco eguali.

Per verificare se e fino a qual punto tali supposizioni si accostano al vero, osserveremo che le oscillazioni segnate dal barografo provengono da due diversi elementi dell'onda originaria, i quali dopo l'esplosione sono partiti dal vulcano in direzioni opposte. Data la prima impulsione, ha dovuto arrivare a noi prima un elemento dell'onda per la via più breve, elemento che si è dipartito dal vulcano nella direzione di nord-ovest: e più tardi ha dovuto arrivare a noi per la via più lunga l'elemento che si è dipartito dal vulcano nella direzione opposta di sud-est. Il primo elemento ha percorso da levante a ponente una via quasi tutta continentale ed irta di grandi montagne, traver-

Digitized by Google

sando l'India, la Persia e la Turchia: il secondo ha traversato nella nella direzione opposta il Mar Pacifico ed il Mare Atlantico, non incontrando per istrada che pochi lembi di terra. Ciascuno di questi due elementi ha dovuto produrre coi suoi ritorni una serie di inflessioni equidistanti uella curva barografica. Le osservazioni fatte in diversi luoghi d'Europa dimostrano che la prima di tali inflessioni (quella designata con I nel quadro qui sopra e che cominciò a Milano poco dopo il mezzodì del 27 agosto) si è andata propagando da levante a ponente: che quindi al primo dei due elementi sopra nominati (lo chiameremo *flutto orientale* perchè venuto dalle parti di levante) sono dovute le inflessioni e i passaggi segnati coi numeri I, III, V, VII, IX nella tabella. Al secondo elemento (al *flutto occidentale*) sono dovute le inflessioni II, IV, VI, VIII.

Facendo le differenze dei tempi corrispondenti alle due serie, si trovano le seguenti durate impiegate dai due flutti a fare i successivi giri del globo.

Flutto orientale		Flutto occidentale	
III-I	34.^{h} 54^m	IV-II	34.^{h} 55^m
V-III	34. 23	VI-IV	34. 7
VII-V	34. 30	VIII-VI	35. 33
IX-VII	36. 20		
Media	34.^{h} 52^m	Media	34.^{h} 52^m

Le velocità di propagazione sono dunque state uguali, e ben poco diverse si troverebbero (cioè 34.^{h} 36^m e 34.^{h} 31^m) escludendo come forse già troppo incerte le durate IX-VII e VIII-VI, dipendenti dai due ultimi passaggi VIII e IX che hanno potuto soffrire già troppo prolungate perturbazioni. Questo risultato è importante, perchè dimostra che lungo la strada percorsa l'influenza delle cause resistenti è stata la medesima nelle due direzioni opposte: cosa che si poteva prevedere di tutte le cause perturbatrici, salvo che di una, cioè del vento. Se infatti tutta l'atmosfera, presa in massa, avesse avuto un moto generale da ponente verso levante come alcuni suppongono, è chiaro che il flutto orientale avrebbe dovuto subire per tal causa un sensibile ritardo, e il flutto occidentale altrettanta accelerazione, e le due velocità di propagazione non avrebbero potuto riuscire uguali. Dato adunque che vi sia nei moti atmosferici qualche prevalenza verso est

Digitized by Google

piuttosto che verso ovest, essa è talmente piccola da non poter esser tenuta in conto nella presente discussione.

IV.

Stabiliti questi fatti, noi possiamo anche determinare separatamente il tempo impiegato dai due flutti a percorrere i due archi ineguali, in cui il circolo massimo da loro descritto è diviso dai due punti Milano e Krakatoa, nonchè l'epoca precisa del momento in cui quei flutti originariamente si dipartirono dal vulcano: in altri termini l'epoca dell'esplosione. Prendendo sempre per origine dei tempi la mezzanotte media di Milano che precedette il giorno civile 27 agosto, chiamisi x il tempo decorso da tal origine fino all'esplosione, e sia τ il tempo impiegato dai due flutti a percorrere la distanza più breve fra Milano ed il vulcano, θ il tempo impiegato a percorrere la via più lunga: così che $\tau + \theta$ sia la durata di un giro intiero intorno al globo. Manifestamente il primo passaggio dell'onda orientale ha avuto luogo al tempo $x + \tau$, e gli altri si otterranno aggiungendo a tal quantità una, due, tre ... volte la durata $\tau + \theta$. Similmente il primo passaggio dell'onda occidentale ha avuto luogo all'epoca $x + \theta$, e gli altri si otterranno aggiungendo a tal epoca una, due, tre ... volte la durata $\tau + \theta$. E pertanto comparando le espressioni così ottenute colle epoche medie consegnate nella quinta colonna della tabella dei passaggi data più sopra § II, nascono le seguenti equazioni di condizione:

Passaggi		Equazioni	Oss. — Calc.
I	orient.	$15.^h\ 13^m = x + \tau$	$-\ 7^m$
II	occid.	$29.\ 25 = x + \theta$	$-\ 5$
III	orient.	$50.\ 7 = x + 2\tau + \theta$	$+\ 12$
IV	occid.	$64.\ 20 = x + \tau + 2\theta$	$+\ 16$
V	orient.	$84.\ 30 = x + 3\tau + 2\theta$	$+\ 1$
VI	occid.	$98.\ 27 = x + 2\tau + 3\theta$	$-\ 11$
VII	orient.	$119.\ 0 = x + 4\tau + 3\theta$	$-\ 3$
VIII	occid.	$134.\ 0 = x + 3\tau + 4\theta$	$+\ 48$
IX	orient.	$155.\ 20 = x + 5\tau + 4\theta$	$+\ 103$

Escludendo gli ultimi due passaggi, che discordano alquanto dagli al-

Digitized by Google

tri per la ragione già sopra accennata, si ricavano i seguenti valori

$$x = 5.^h\,8^m: \qquad \tau = 10.^h\,13^m: \qquad \theta = 24.^h\,22^m;$$

i quali sostituiti nelle equazioni danno le differenze residue della colonna inscritta a destra delle equazioni stesse. Volendo tener conto dei passaggi VIII e IX si arriverebbe a numeri non molto differenti. Credo quindi abbastanza sicure le conclusioni che seguono.

1. Il *maximum* della prima impulsione data dal vulcano fu a $5.^h\,8^m$ antim. del 27 agosto del tempo medio di Milano, corrispondente a $11.^h\,34^m$ antim. del tempo locale di Krakatoa. Tale impulsione tuttavia è probabile che sia cominciata anche alquanto più presto, siccome indica il primo arrivo del flutto orientale, che cominciò con un forte e quasi subito abbassamento $1.^h\,53^m$ prima di raggiungere il *maximum* d'intensità. Ma anche ammettendo una tale differenza di tempo fra il principio e il *maximum* dell'esplosione, non si arriva che a $9.^h\,41^m$ mattina del tempo locale, mentre si sa che la grande convulsione della parte solida del vulcano, che produsse le onde marine così fatali alle città di Anjer e di Telok-Betong, ebbe luogo alle $6\,^1/_2$ del mattino, cioè più di 3 ore prima. Le onde atmosferiche non ebbero dunque origine insieme colle marine, ma nacquero almeno tre ore più tardi, quando secondo ciò che fu visto dal piroscafo *Loudon* (il quale si aggirava per lo stretto della Sonda in quel tempo), cominciò il vulcano ad eruttare una quantità enorme di materia solida ed aeriforme, tale da oscurare il cielo e produrre notte completa per tutto il resto di quel giorno. « Verso le 9 del mattino, scrive l'ingegnere Van Sandick, che si trovava sul piroscafo, s'intende un romore come di un colpo di cannone: il cielo ha un color di rame, il sole è invisibile, strisce di fuoco traversano l'aria. A $10.^h\,30^m$ l'oscurità è profonda. Una pioggia di fango e di pomice inonda ogni cosa. » Non sono gli scuotimenti e le rovine del vulcano, che produssero le onde atmosferiche, ma probabilmente l'eruzione di enorme quantità di fluidi aeriformi. Narra un altro osservatore, che il barometro faceva in breve tempo oscillazioni di un intero pollice inglese.

2. A fare il tragitto dal Krakatoa a Milano lungo la via più breve, le onde hanno impiegato in media $10.^h\,13^m$: la velocità media in questa parte fu dunque di 297 metri per minuto secondo, cioè circa $^9/_{10}$ della velocità del suono. Il decimo che manca possiamo supporre che rappresenti la resistenza incontrata lungo un cammino quasi tutto continentale, ed occupato da alte montagne.

3. Il tragitto dell'onda per la via più lunga del Pacifico e del-

Digitized by Google

l'Atlantico attraverso l'istmo centrale Americano essendosi fatto in 24.^{h} 22^m, ne risulta per la velocità dell'onda su questa tratta 332 metri per secondo, quasi esattamente la velocità del suono nell'aria a 0°. Pare dunque, che sui tratti marini la resistenza alla propagazione dell'onda sia stata piccolissima, o almeno compensata dell'eccesso della temperatura media delle masse aeree percorse sopra 0°, eccesso che come è noto accresce la velocità di circa 0^m 6 per ogni grado centigrado.

4. Noi possiamo, almeno per approssimazione determinare il punto presso l'antipodo del vulcano, dove si sono incontrati il flutto orientale e il flutto occidentale camminando in senso opposto. Questo punto è lontano dall'antipodo circa 650 chilometri verso N E, e poco si scosta dalla città di Caracas presso il Mare delle Antille. In quelle parti, secondo quanto fu detto di sopra, ha dovuto concentrarsi su piccolo spazio tutta l'energia dell'onda, che quando attraversava Milano era diffusa press' a poco sull'estensione di un circolo massimo della Terra, ed era quindi ridotta ad un *minimum* d'intensità. Io non dubito, che se in qualche luogo delle Antille o del continente di Venezuela fosse stato in attività un barografo registratore, fortissime oscillazioni di parecchi e parecchi millimetri avrebbero dovuto notarsi ad intervalli di 34 a 36 ore a cominciare dalla sera del 27 agosto alle 5 ore del tempo locale: mentre simili oscillazioni avrebbero dovuto manifestarsi ad uguali intervalli nei luoghi posti presso al vulcano, cominciando qualche ora prima del mezzogiorno locale del 27 agosto.

V.

Resta a dir qualche cosa delle due ondate V *a* e VII *a*, le quali non fanno serie colle altre e non furono perciò considerate finora. Da principio io era inclinato a ritenerle come d'origine puramente meteorologica: ma ho dovuto cambiar opinione, avendo appreso che tanto l'una quanto l'altra sono state notate in cinque meteorografi delle stazioni britanniche, ciò che esclude ogni possibilità di attribuirla a fluttuazioni locali ed accidentali dell'atmosfera sovrastante a Milano. Inoltre l'intervallo fra le due, che è di 35.^{h} 40^m, indica con molta probabilità trattarsi qui di due passaggi consecutivi della medesima ondata: il paragone dei tempi delle osservazioni mostra poi che ambedue passarono sopra Milano un'ora e più prima che sulle isole Britanniche, onde è certo che ambedue si sono mosse da levante verso ponente. Vi è dunque poco da dubitare che esse sieno una parte o derivazione

Digitized by Google

del flutto orientale, di cui il ramo normale diede luogo ai passaggi V e VII anteriori di 3 e di 4 ore rispettivamente a quelli che si considerano.

Avendo questo flutto *secondario* girato il globo alquanto più lentamente, che il *primario* che lo precedette di poco (cioè in ore 35 $^1/_2$ invece che in 34 $^1/_2$), si può inferirne che nel suo corso ha subito maggiore resistenza, e pertanto è probabile che sia arrivato sopra Milano seguendo una via alquanto diversa da quella del flutto *primario*. Questi due flutti sarebbero dunque due parti diverse della grande onda, le quali incontrando diversa resistenza e obbligate a percorrere via diversa, passaron tuttavia ambedue sopra Milano, benchè in tempi alquanto differenti. In questo non vi ha nulla di difficile a comprendere, nè di impossibile: è un caso analogo a quello di un occhio, il quale vede due immagini di un medesimo punto luminoso, l'uno per visione diretta, l'altro per refrazione attraverso ad un prisma. I continenti terrestri infatti colla loro resistenza non solo possono rallentare le onde venienti dal mare, ma quando l'incidenza delle onde sulla costa sia obliqua, debbono altresì modificarne la direzione facendo su di esse lo stesso effetto che un corpo refringente fa sulle onde luminose. In simil modo è possibile rendersi ragione del ritardo dei due passaggi VIII ed IX dell'onda principale, constatati qui sopra.

VI.

Erano scritte le cose precedenti, quando nel n.° 738 del giornale inglese *Nature* potei finalmente leggere la Memoria del generale Strachey sull'argomento presente, della quale prima non aveva avuto che notizie insufficienti. La base principale delle sue ricerche sono i risultati ottenuti da 8 meteorografi inglesi, le cui segnature, interpretate in modo uniforme, si accordano assai bene fra loro. Risulta tuttavia con evidenza, che il fenomeno si produsse in Inghilterra con particolarità notevolmente diverse da quelle osservate da noi. Prima di tutto le inflessioni delle curve inglesi, quali le descrive l'autore, mostrano una forma diversa da quella che si è osservato qui. Così in Inghilterra i passaggi I e II si dice abbiano cominciato con una marcata ascensione, mentre a Milano cominciarono con una rapida discesa: altre differenze poi meno importanti si rilevano anche nei passaggi consecutivi. Questa circostanza rende poco sicuro il paragone delle epoche, le quali pur troppo rimarranno sempre incerte di mezz'ora o anche più. In secondo luogo è manifesto, esser mancati affatto nei meteorografi inglesi i passaggi V, VII, VIII, IX, trovandosi corrispon-

Digitized by Google

dere con quei di Milano soltanto I, II, III, IV, V *a*, VI, VII *a*. Ciò indicherebbe a parer mio, che il flutto orientate *normale* o *primario* cessò di esser osservato nel Nord d'Europa dopo il passaggio III, essendosi surrogato a questo il flutto secondario che diede origine ai passaggi V *a* e VII *a*, anche veduti a Milano. Strachey tuttavia considera i quattro passaggi I, III, V *a*, VII *a* come corrispondenti ad un identico flutto; e dagli intervalli, che non s'accordano con quelli del flutto occidentale, è obbligato a supporre per i due flutti orientale ed occidentale due velocità molto diverse facendo descrivere al primo un giro intorno alla Terra in $36.^h\ 57^m$, al secondo in $35.^h\ 17^m$. Questa differenza attribuisce alle correnti atmosferiche occidentali, che egli suppone abbiano prevalso sulle orientali in modo, che in tutta la parte d'atmosfera percorsa da quelle onde si dovrebbe ammettere un moto generale da ponente verso levante di 16 miglia inglesi all'ora.

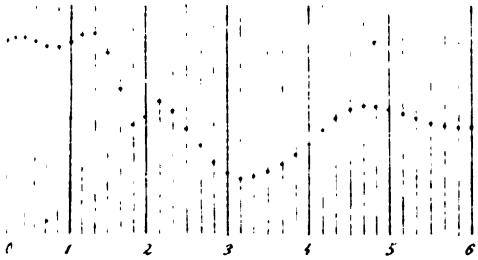
Per accordare queste ipotesi colle osservazioni di Milano, bisogna anzitutto considerare come non avvenuti i quattro passaggi V, VII, VIII, IX che non vi si adattano in alcun modo. Bisogna poi considerare come epoca della prima ondata I non il *minimum* più pronunziato (vedi § 1), ma la prima rapida discesa che ebbe luogo a $13.^h\ 50^m$ di Milano. Si ottengono allora le seguenti durate di un giro intorno al globo:

Flutto orientale		Flutto occidentale	
III-I	$36.^h\ 17^m$	IV-II	$34.^h\ 55^m$
V *a*-III	37. 13	VI-IV	34 7
VII *a*-V *a*	35. 40		
Media . . .	$36.^h\ 23^m$	Media . . .	$34.^h\ 31^m$

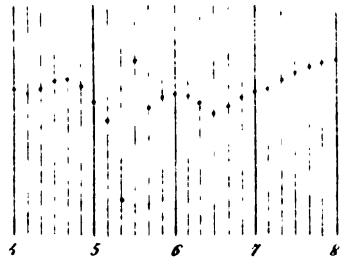
le quali differiscono fra loro anche un poco di più che quelle assegnate dallo Strachey, e sono alquanto più brevi. Collo scarso materiale che è a mia disposizione mi è impossibile decidere, se questi risultati siano da preferirsi a quelli addotti più § IV, sopra partendo da raccolte altro principio. Soltanto una discussione accurata su tutte le osservazioni nelle varie parti del globo potrà arrecare maggior luce sull'argomento.

Digitized by Google

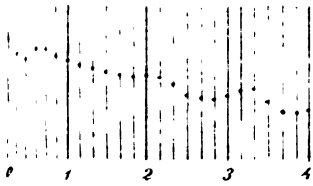
I. 27 Agosto p. m.



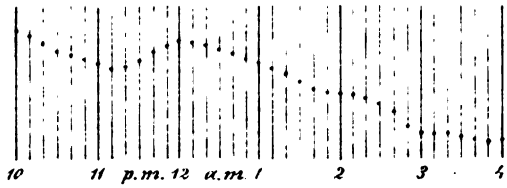
II. 28 Agosto a. m.



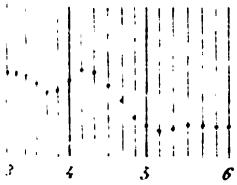
V e V a 30 Agosto p. m.



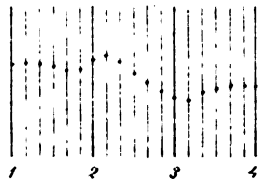
VII e VII a 31 Agosto - 1 Sett.



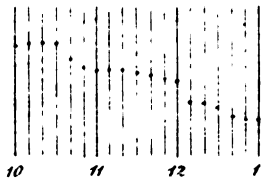
IV. 29 Agosto p. m.



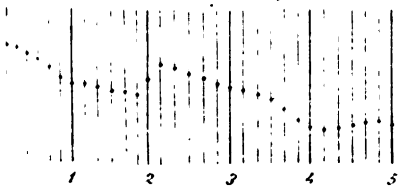
VI. 30 Agosto a. m.



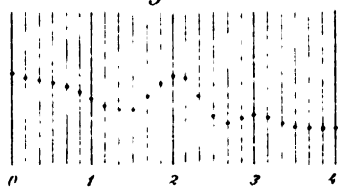
IX. 2 Sett a. m.



VIII. 1 Settembre p. m.



III. 29 Agosto a. m.



ONDE BAROMETRICHE OSSERVATE A MILANO

nei giorni 27 Agosto - 2 Settembre 1883

(La variazione di 1^{mm} di mercurio è rappresentata da 10^{mm} nelle ordinate)

Digitized by Google